

PUB. NO.: 04-335620 [JP 4335620 A]
PUBLISHED: November 24, 1992 (19921124)
INVENTOR(s): TAGUCHI AYUMI
YAMADA MASAHIRO
KAWAKUBO SHIN
KIJIMA KOUICHIROU
APPLICANT(s): SONY CORP [000218] (A Japanese Company or Corporation), JP
(Japan)
APPL. NO.: 03-107392 [JP 91107392]
FILED: May 13, 1991 (19910513)
INTL CLASS: [5] G02F-001/35; G02F-001/37; H01S-003/109; H01S-003/18
JAPIO CLASS: 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment); 42.2
(ELECTRONICS -- Solid State Components)
JAPIO KEYWORD: R002 (LASERS); R005 (PIEZOELECTRIC FERROELECTRIC SUBSTANCES)
JOURNAL: Section: P, Section No. 1518, Vol. 17, No. 182, Pg. 125,
April 08, 1993 (19930408)

ABSTRACT

PURPOSE: To form a polarization inversion structure without causing the surface contamination, refractive index variation, crystal breakage, etc., of a ferroelectric material.

CONSTITUTION: On the ferroelectric material 10 after single polarization, 1st and 2nd electrodes 1 and 2 are arranged in the polarizing direction and at least the 1st electrode 1 is formed in pattern corresponding to the pattern of polarization inversion structure which is obtained finally; and a voltage of 1-100kV/mm is applied between the 1st and 2nd electrodes 1 and 2 so that a negative potential is applied to the negative side of self-polarization of the ferroelectric material 10 and a positive potential is applied to the positive size, thus forming the polarization inversion structure.

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-335620

(43) 公開日 平成4年(1992)11月24日

(51) Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35	5 0 5	7246-2K		
		7246-2K		
H 0 1 S 3/109		7630-4M		
		9170-4M		

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平3-107392

(22) 出願日 平成3年(1991)5月13日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 田口 歩

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 山田 正裕

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 川久保 伸

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 弁理士 松隈 秀盛

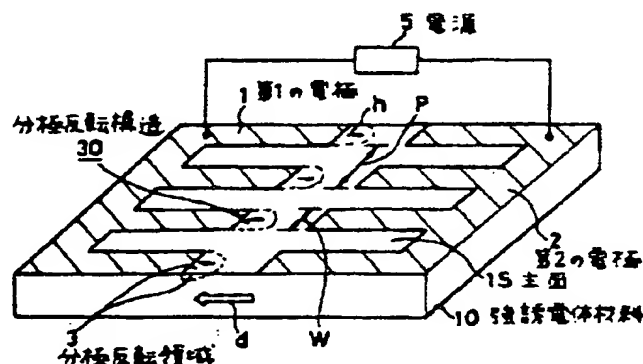
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分極反転制御方法

(57) 【要約】

【目的】 強誘電体材料の表面汚染、屈折率変化、結晶破壊等を生じることなく分極反転構造を形成する。

【構成】 単分域化された強誘電体材料10に、その分極方向に第1及び第2の電極1及び2を配置し、少なくとも第1の電極1を最終的に得る分極反転構造のパターンに対応するパターンに形成し、150℃未満の温度下において、第1及び第2の電極1及び2間に、強誘電体材料10の自発分極の負側を負電位、正側を正電位となるように1kV/mm~100kV/mmの電圧を印加して、分極反転構造を形成する。



本発明分極反転制御方法の一例を示す斜視図

【特許請求の範囲】

【請求項1】 単分域化された強誘電体材料に、その分極方向に第1及び第2の電極を配置し、少なくとも第1の電極は最終的に得る分極反転構造のパターンに対応するパターンに形成され、150℃未満の温度下において、上記第1及び第2の電極間に、上記強誘電体材料の自発分極の負側を負電位、正側を正電位となるように1kV/mm～100kV/mmの電圧を印加して、分極反転構造を形成するようにしたことを特徴とする分極反転制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば光第2高調波発生素子（以下SHG素子という）等の光デバイス装置の形成に適用して好適な分極反転制御方法に係わる。

【0002】

【従来の技術】 近年特にSHG素子等の光デバイス装置において、その表面に周期的な分極反転構造いわゆるドメイン反転構造を形成して光出力等の特性の向上をはかることが提案されている。

【0003】 例えばSHG素子は、周波数 ω の光を導入すると、 2ω の周波数の第2高調波の光を発生するもので、このSHG素子によって単一波長光の波長範囲の拡大化がはかられ、これに伴いレーザの利用範囲の拡大化と各技術分野でのレーザ光利用の最適化をはかることができる。例えばレーザ光の短波長化によってレーザ光を用いた光記録再生、光磁気記録再生等において、その記録密度の向上をはかることができる。

【0004】 このようなSHG素子としては、例えばKTPを用いたいわゆるバルク型のSHG素子や、より大なる非線形光学定数を利用して位相整合を行う導波路型のSHG素子、例えばLiNbO₃（LN）等の強誘電体結晶の非線形光学材料より成る単結晶基板の上に線形導波路を形成して、これに近赤外光の基本波を入力して第2高調波の例えば緑、青色光を放射モードとして基板側からとりだすチェレンコフ放射型のSHG素子等がある。

【0005】 しかしながらバルク型SHG素子はその特性上SHG変換効率が比較的低く、また廉価で高品質が得られるLNを用いることができない。またチェレンコフ放射型SHG素子は、SHGビームの放射方向が基板内方向であり、ビームスポット形状も例えば三日月状スポットという特異な形状をなし、実際の使用においての問題点が存在する。

【0006】 変換効率の高いデバイス実現のためには、基本波と第2高調波の位相伝搬速度を等しくしなくてはならない。これを擬似的に行う方法として非線形光学定数の \pm を周期的に配列する方法が提案されている（J. A. Armstrong, N. Bloembergen, 他, Phys. Rev., 127, 1918(1962)）。これを実現する方法として結晶（例えば結晶軸）

の方向を周期的に反転させる方法がある。具体的な方法としては、例えば結晶を薄く切断して貼り合わせる方法（岡田、滝沢、家入、NHK技術研究、29(1)、24(1977)）や、また結晶引き上げ時に例えば印加する電流の極性を制御して周期的な分域（ドメイン）を形成して周期分極反転構造を形成する方法（D. Feng, N. B. Ming, J. F. Hong, 他, Appl. Phys. Lett., 37, 607(1980), K. Nassau, H. J. Levinstein, G. H. Loiacano Appl. Phys. Lett., 6, 228(1965), A. Feisst, P. Koidl Appl. Phys. Lett., 47, 11 25(1985)）がある。これらの方法は結晶材料の全体に渡って周期構造を形成することを目的としている。しかしながら上述した方法による場合は大規模な装置が必要となるのみならず、分極反転形成の制御が難しいという問題点がある。

【0007】 これに対して結晶材料の表面近傍に上述の周期分極反転構造を形成する方法として、例えばTiを結晶表面から拡散させる方法（伊藤弘昌、張英海、稲場文男、第49回応用物理学会講演会予稿集919(1988)）や、LiO₂を外拡散する方法（Jonas Webjorn, et al., IEEE PHOTONICS TECHNOL. LETT., 1, 1989, PP316-318）が提案されている。

【0008】 このTi拡散法により分極反転を形成する場合は、例えば図16にその一製造工程の略線的拡大断面図を示すように、全面的にc軸方向に即ち図16において矢印dで示す分極方向に単分域化された例えばLNより成る強誘電体材料10の、+c面上にTi21を所要の例えば平行帯状パターンに例えばピッチPを5 μ m、電極幅Wを2.5 μ mとして波着形成する。

【0009】 そしてこのような状態で例えば1100℃程度の加熱を行ってTiを強誘電体材料10内に拡散させ、図17に示すように分極反転領域3を周期的に形成することができる。しかしながらこの場合、分極反転領域3の屈折率が変化したり、また分極反転領域3のピッチに対してその深さDが小であり、かつその分極反転領域は断面三角形形状となって形状の制御性に劣る（F. Laur ell et al., Integrated Photonics Research, Jul2, 1989）等の恐れがある。

【0010】 即ち、上述した位相整合を確実に行うためには、分極反転領域3の深さDを大とすることが望ましく、かつその断面形状は強誘電体材料10の深さ方向に延長するストライプ状に、分極反転領域3と分極反転が生じない領域とが交互に形成されることが望ましいが、上述のTi拡散法によってSHG素子を形成した場合、その分極反転領域3の形状の制御性に劣るため、入力光の漏波や第2高調波光の漏波、更に入力光と第2高調波光との結合効率の低下を招来する等して、いわゆる光変換効率の低下を招く恐れがある（Inst. Phys. Conf. Ser. N 0103: Part I, Paper presented at Int. Conf. Materials for Non-linear and Electro-optics, Cambridge, 1989）。

【0011】 これに対して本出願人は、先に特開平2-

4

にするものである。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明による分極反転制御方法の一例の一製造工程の略線的拡大断面図を図１に示す。本発明は図１に示すように、単分極化された強誘電体材料１０に、その分極方向に第１及び第２の電極１及び２を配置し、少なくとも第１の電極１は最終的に得る分極反転構造３０のパターンに対応するパターンに形成され、１５０℃未満の温度下において、第１及び第２の電極１及び２間に、強誘電体材料１０の自発分極の負側を負電位、正側を正電位となるように１ｋＶ／ｍｍ～１００ｋＶ／ｍｍの電圧を印加して、分極反転構造３０を形成する。

【0019】

【0014】このような構成において、電源5によって1000Vの直流電圧を印加し、昇温レートを8.5℃/分として1035℃まで昇温し、この温度において5分間保持する。この場合、Pt電極23のパターンに対応するパターンの分極反転領域を形成することができる。

【0020】これは次に述べる理由に因るものと思われる。即ち一般的にはLN単結晶のような、高電圧を印加すると結晶が破壊される強誘電体材料（frozen ferroelectrics）においては、結晶破壊が生じない程度の電圧を印加しても分極反転が生じないとされており、従来は結晶破壊を生じさせない程度の比較的低い電圧の印加によって分極反転を生じさせるために、即ち抗電界を下げるために、150℃～1200℃程度の高温度において比較的低い電圧、即ち例えば数V/mm～数百V/mm程度の電圧を印加して分極反転を形成していた。

【0015】しかしながら、この場合においてもその分極反転領域はT i 拡散法による場合と同様に、図19にその頭微鏡写真に基づくパターン図を示すように、分極反転領域3のピッチPに比して深さDが小となり、また分極反転領域3の幅WがピッチPに対して大となって、確実な位相整合を行い難くなり、光変換効率の低下を招く場合がある。

【0021】しかしながら、上述したような結晶破壊は、電圧印加を行う電極の形状、その電極幅等に依存することが本発明者等の鋭意考察研究の結果究明された。即ち、このような結晶破壊は圧電効果によるもので、対象とする強誘電体材料に応じて電極幅等を適切に選定することによって、電極付近に発生する応力を分散させることができ、試料の力学的破壊即ち結晶破壊を生じさせることなく強誘電体材料の分極反転を行うことができるものと思われる。

【0016】またこれらの電圧印加による分極反転制御方法では、非線型光学材料の抗電界を低下させるために、150℃～1200℃程度に加熱して直流電圧またはパルス電圧を印加する方法を採っているため、強誘電体材料の表面に絶縁体或いは電極材料等の物質を被着してパターニングするか或いは接触させ、この状態で高温の熱処理及び高温中での電圧印加を行うこととなり、強誘電体材料の表面が汚れる恐れがあり、また強誘電体材料としてLNを用いる場合は、この加熱によってLNから酸素分子が外拡散する恐れがあり、組成の変化による屈折率の変動をもたらして、特性の変動を生ずる恐れがある。

【００２２】また本発明方法では単分極化された強誘電体材料１０に、その分極方向に第１及び第２の電極１及び２を配置し、第１及び第２の電極１及び２間に電圧を印加するものであるが、このとき、強誘電体材料１０の自発分極の向きに対して垂直な方向に生じる電界成分を小として、圧電効果によって生じる応力の発生を小とすることによって、結晶歪みや結晶破壊を抑制することができる。

【００１７】本発明が解決しようとする課題は、上述したような強誘電体材料の表面汚染、屈折率変化等を回避して、制御性よく分極反転構造を得ることができるよう

【0023】即ちこのような電極形状の選定及びその配置位置の選定によって結晶破壊を抑制し得るため、本発明制御方法によれば150℃未満の温度下という低い温度状態において、1kV/mm~100kV/mmという大なる電圧を印加することができ、これによって形状の制御性よく、また強誘電体材料表面の汚染や、然によ

放することができ、圧電効果による結晶破壊いわゆるピエゾ破壊を防ぐことができる。つまり電極のない部分の試料が緩衝材として動き電極近傍でたまった歪みをとるので、ピエゾ破壊に至る応力が試料中に広範囲にわたってかかることを防ぐことができ、結晶破壊を生じることなく分極反転領域3を形成することができる。

【0029】また、電極の微細化によって分極反転に要する印加電圧を減少させることができる。これは、電極即ち導電体中の電荷が電極の端部に集まる性質があるため、電極の微細化による電極近傍における局所的な電界強度が増大するためと思われる。

【0030】实施例2

図3を参照して説明する。図3において、図1に対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。この例では、強誘電体材料10に凸部即ちリッジ6が形成されて成る。このリッジ6の長手方向は強誘電体材料10の矢印dで示す自発分極方向に直交するように選定され、その長手方向の側壁面が、分極の正側より成る側面1Aと、負側より成る側面1Bとにより構成される。この側面1A及び1B上と、これらに隣接する上側面1E上にわたって後述する製造工程によってA1等より成る第1の電極1及び第2の電極2が例えばその幅及びピッチを実施例1と同様に選定され、櫛歯状パターンとして形成される。このとき、櫛歯部は両上側面1E上から両側面1A及び1Bにわたって形成されるようになし、更に両側面1A及び1B上の櫛歯先端部が主面1Sの両端に対向して配置されるようになる。

【0031】このような構成において、第1の電極1側が正電位、第2の電極2側が負電位となるように、例えば10kV/mmの電圧を印加して、リッジ6に分極反転領域3を形成し、各歯先端部のパターンに対応するパターンの分極反転構造30を得ることができた。

【0032】上述したように強誘電体材料10にリッジ6を形成し、更にその長手方向の側面1A及び1Bに所要のパターンの電極1及び2を作成する方法の一例を図4A～Dに示す。図4Aに示すように、強誘電体材料10の分極反転を形成すべき主面1S上にレジスト11を全面的に塗布、ベークした後、Ni、Cr等より成るマスク層12を蒸着、スパッタリング等によって被着し、更にこの上にレジスト13を塗布、ベークした後リッジ6を形成すべき所要の部分にレジスト13が残るように、即ちこの場合矢印dで示す分極方向に所要の幅を有し、図4の紙面に対して直交する方向を長手方向とするパターンにフォトリソグラフィ等の適用によって露光現像してパターンニングする。

【0033】そして図4Bに示すように、RIE（反応性イオンエッチング）等の異方性エッチングによりレジスト13をマスクとして、マスク層12とレジスト11をパターニングする。

【0034】続いて図4Cに示すように、RIE等の異

方性エッチングによってマスク層12をマスクとして強誘電体材料10を主面1S上からエッチングして、側面1A及び1Bと、これに隣接する上側面1Eとを露出させ、リッジ7を構成する。このときこの強誘電体材料10に対するエッチングの深さを制御してリッジ6の高さを2 μ m程度となす。

【0035】そして更に図4Dに示すように、Al、Au、Pt、K、Li等の例えばAlより成る金属層14をリッジ6上を覆って全面的に蒸着、スパッタリング等によって被着形成する。

【0036】次にRIE等の異方性エッチングによって図3に示す櫛歯状パターンにこの金属層14をパターンニングした後、アセトン等の溶剤に浸してレジスト11を除去することにより、図4Eに示すように、リッジ6上の金属層14のみをリフトオフして、側面1A及び1Bからそれぞれ上側面1Eに隣接する櫛歯状の第1の電極1及び第2の電極2を形成することができる。

【0037】この場合、上述した分極反転形成のための電圧印加工工程の前或いは後に、プロトン交換法等によってリッジ6に導波路を形成し、第1の電極1及び第2の電極2を除去してSHG素子を得ることができる。

【0038】このように、強誘電体材料10にリッジ6を形成して、その側面1A及び1Bに電極を被着して電圧印加を施す場合は、自発分極に対して平行ではない電界成分、即ち分極反転に直接影響のない電界成分を大幅に減少させることができる。LN結晶等の強誘電体材料10では、このような自発分極の生じる方向に平行でない電界成分が材料に与える応力が大であるため、このような電界成分を減少させることによって、強誘電体材料10の結晶破壊を防ぐことができる。

【0039】またこのような構成によって分極反転を形成する場合、各分極反転領域3をリッジ6の全厚さにわたって形成することができる。従ってこれに形成する導波路の深さを適切に選定することによって、この導波路の全厚さ或いはそれ以上の深さにわたって、かつ結晶破壊を殆ど生じることなく分極反転構造30を形成することができ、これをSHG素子として用いる場合、SHG効率等の光変換効率を高めることができる。

【0040】実施例3

図5の略線的拡大斜視図を参照して説明する。この場合も主面1Sの面内方向の、矢印dで示す方向に単分域化された強誘電体材料10を用いた例で、主面1S上の分極の正側にフォトリソグラフィ等の適用によってAl等より成る第1の電極1が被着形成され、一方分極の負側の側面1B上には全面的にAl等より成る第2の電極2が蒸着、スパッタリング等により被着形成されて成る。5は電源である。このような構成において、第1の電極1側が正電位、第2の電極2側が負電位となるように電圧を印加して、第1の電極1の櫛歯パターンに対応するパターンの分極反転構造30を形成する。この場合、櫛

歯先端部の幅及びピッチ、電圧の大きさを実施例1と同様に選定して、結晶破壊等をほとんど生じることなく分極反転構造を得ることができる。

【0041】実施例4

図6の略線的拡大斜視図を参照して説明する。図6において、図5に対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。この場合は強誘電体材料10の分極の正側の側面1A上に、櫛歯状パターンの第1の電極1を、更に分極の負側の主面1S上に櫛歯状パターンの第2の電極2をそれぞれ蒸着、スパッタリング等により被着した後フォトリソグラフィ等の適用によって形成した例で、これら各電極1及び2の櫛歯先端部が、主面1S上と側面1A上とにわたって相対向するようにパターンニングされるようになる。このような構成において、上述の実施例3と同様に、第1の電極1側に正電位、第2の電極2側が負電位となるように電圧を印加して、第1の電極1及び第2の電極2の櫛歯パターンに対応するパターンの分極反転構造30を形成した。この場合においても、櫛歯先端部の幅及びピッチ、電圧の大きさを実施例1と同様に選定して、結晶破壊等をほとんど生じることなく分極反転構造30を得ることができた。

【0042】実施例5

図7の略線的拡大斜視図を参照して説明する。この場合強誘電体材料10が厚さ方向に全面的に単分域化されて成る場合で、その分極の正側の主面1S上にAl等より成る第1の電極1が例えば櫛歯状パターンにパターンニングされ、分極の負側の裏面1R上にも同様にAl等より成る櫛歯状パターンの第2の電極2が、その櫛歯部が主面1S上と裏面1R上とで相対向して強誘電体材料10を挟み込むように被着形成されて成る。そして上述の各実施例と同様に、分極の正側即ち第1の電極1側を正電位、分極の負側即ち第2の電極2側を負電位として電圧を印加し、第1の電極1の櫛歯パターンに対応するパターンの分極反転構造を形成した。この場合においても、櫛歯先端部の幅及びピッチ、電圧の大きさを実施例1と同様に選定して、結晶破壊を殆ど生じることなく分極反転構造を得ることができた。更にこの場合、各電極1及び2の櫛歯部にわたって即ち強誘電体材料10の全厚さにわたって分極反転領域が形成され、そのピッチに対して深さを比較的大とすることができた。

【0043】実施例6

図8の略線的拡大斜視図を参照して説明する。図8において、図7に対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。この場合は強誘電体材料10の裏面1R上に全面的に第2の電極2を被着形成した例で、この例においても、上述の実施例5と同様に、第1の電極1のパターンに対応するパターンの分極反転構造を得ることができ、更にそのピッチに対して深さを大とすることができた。

【0044】実施例7

図9の略線的拡大斜視図を参照して説明する。図9において、図3に対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。この例では、図3において説明した実施例2におけるリッジ6を有する強誘電体材料10全体を、容器8中のフロリナート（住友3M社製、商品名）等のフロン系耐高電圧液などの絶縁液9に浸漬した状態で電圧印加を行うものである。このように絶縁液9中において電圧を印加することによって、電極1及び2間の放電を確実に回避することができ、結晶破壊を生じることなく制御性よく分極反転構造を得ることができた。

【0045】実施例8

図10の略線的拡大断面図を参照して説明する。図10において、図8に対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。この例では、図8において説明した実施例6における強誘電体材料10全体を、実施例7と同様に容器8中のフロン系耐高電圧液等の絶縁液9に浸漬した状態で電圧印加を行うものである。このとき、第1の電極1のパターンは紙面に直交する平行帯状パターンとし、ピッチPを $2\mu\text{m}$ 、幅Wを $1\mu\text{m}$ 、厚さT₁を 500\AA 、強誘電体材料10の厚さTを $50\mu\text{m}$ 、また裏面1R上の第2の電極2の厚さT₂を 500\AA とし、このような構成において、電圧値1.5kV、パルス幅120m秒のパルス電圧を1回印加した。この場合図10において矢印hで示すように、第1の電極1直下の領域において、強誘電体材料10の全厚さにわたって分極反転が生じ、この第1の電極1のパターンに対応するパターンの分極反転構造30が形成された。このように、絶縁液9中において電圧を印加することによって実施例8と同様に、電極1及び2間の放電を確実に回避することができた。

【0046】また、印加電圧をパルス電圧としても良好な形状でかつ結晶破壊を生じることなく分極反転構造30を得ることができる。特にこのパルス電圧の電圧値及びパルス幅を適切に選定することによって、分極反転領域3の幅及び深さを制御することができる。

【0047】実施例9

図11の略線的拡大斜視図を参照して説明する。図11において、図1に対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。この場合においても、図1において説明した実施例1における強誘電体材料10全体を、容器8中の絶縁液9に浸漬した状態で電圧印加を行うものである。このとき、第1の電極1のピッチPは $2\mu\text{m}$ 、幅Wは $1\mu\text{m}$ 、主面1S上の各電極1及び2の鋸歯先端部間の距離Lは $3.5\mu\text{m}$ 、強誘電体材料10の厚さTは 1mm であり、このような構成において、9.3kVの直流電圧を40秒間印加した。この場合、主面1S上の第1の電極1及び第2の電極2の鋸歯先端部間に、この鋸歯パターンに対応するパターンの分極反転構造30が形成された。また、電極1及び2間の放電を確実に回避することができた。

【0048】参考例

図12の略線的拡大斜視図を参照して説明する。この例においては、厚さ方向に全面的に単分域化され、かつその厚さが一方の端面においては小なる厚さ t_1 、他方の端面においては大なる厚さ t_2 を有するように、例えばその分極の正側となる上面1Uが傾斜して成るテーパ状の強誘電体材料10を用いた場合で、分極の負側となる裏面1R上には、A1等より成る例えば平行帯状パターンの第1の電極1が被着形成され、テーパ面である上面1U上にはA1等より成る第2の電極2が全面的に被着形成されて成る。

【0049】このような構成において、分極の正側即ち第2の電極2が正電位、負側即ち第1の電極1が負電位となるように、5kVの直流電圧を1分間印加して分極反転領域を形成した。この分極反転領域の顕微鏡写真に基づくパターン図を図13に示す。図13からわかるように、強誘電体材料10の厚さがある程度以上の領域においては分極反転領域3が形成されない。このように分極反転領域3が形成されない最小の厚さT_cはこの場合 $372\mu\text{m}$ であり、この部分における単位厚さ当たりの印加電圧は 13.4 kV/mm であった。

【0050】即ち、LN単結晶に対して分極反転領域を形成し得る印加電圧はほぼ 10 kV/mm 程度以上であることがわかる。しかしながら、LN単結晶以外の例えばKTP、LiTaO₃等の電気伝導度が比較的大なる強誘電体材料を用いる場合は分極反転が比較的易いため、 1 kV/mm 以上程度の電圧印加によって良好な分極反転構造を得ることができる。

【0051】尚、 1 kV/mm 未満の電圧印加によって分極反転領域が形成される場合はその後の安定度が低く、温度等の外部環境の変化に伴ってこの分極反転が元に戻ってしまう恐れがある。例えば分極反転構造によって位相整合をなし、かつ基板に電圧を印加して電気光学効果によって導波路の屈折率を部分的に変化させる電気光学装置等に本発明を適用する場合は、動作時の電圧印加によって分極反転領域が消滅する恐れがある。従って安定な分極反転構造を形成するために、印加電圧は 1 kV/mm 以上とする。

【0052】また 100 kV/mm を越える電圧を印加すると、強誘電体材料の結晶性が破壊されてしまう恐れがあるため、印加電圧は 100 kV/mm 以下とする。特にLN単結晶の場合は確実に結晶破壊を防ぐために、 25 kV/mm 程度以下とすることが望ましい。

【0053】次に、比較例として、強誘電体材料として同様にLN単結晶を用いて、電圧印加を行うパターン電極の幅が $100\mu\text{m}$ を越える場合の一例を説明する。

【0054】比較例

図14の略線的拡大上面図を参照して説明する。図14において、図1に対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。この場合、鋸歯状の第1及び第2の

電極1及び2が100 μ mを越える幅Wを有する場合、各電極の鋸歯先端部の間隔Lを200 μ mとした。このような構成において、4kVの直流電圧を40秒間印加した。

【0055】このようにして分極反転を形成し、更に第1及び第2の電極1及び2を除去した後の強誘電体材料10の表面の顕微鏡写真に基づくパターン図を図15に示す。この場合、第1の電極1の鋸歯先端部から延長するように分極反転領域3が形成されるが、第1の電極1の直下の電極被着領域13において結晶破壊が生じていることがわかる。即ち、LN単結晶の場合はこのように100 μ mを越える幅の電極によって電圧を印加する場合、結晶破壊を生じる恐れがあることがわかる。

【0056】尚、このLN単結晶を用いて周期的な分極反転構造を形成してSHG素子を構成する場合には、その周期を1 μ m~30 μ m程度とし、分極反転領域の幅を0.5~15 μ m程度とすることが望ましく、この場合には電極幅が充分小であるため、結晶破壊をほとんど生じることなく分極反転構造を形成することができる。

【0057】しかしながら、強誘電体材料の他の材料として例えばKTPを用いる場合は、電圧印加を行う電極の幅を数mm程度としても結晶破壊を生じることなく分極反転構造を形成することができ、このように強誘電体材料の種類に応じてその電圧印加を行う電極の形状を適切に選定することが望ましい。

【0058】尚、上述した各実施例においては、強誘電体材料10上に直接的に電極を被着形成した場合であるが、この電極と強誘電体材料10との間に絶縁層を設けて電圧印加を行ってもよい。

【0059】また、電圧印加に先立って、強誘電体材料に対してプロトン交換、電子線等の荷電粒子照射を行う場合は、強誘電体材料内の分極が反転し易くなり、分極反転に必要な電圧値を低減化することができる。

【0060】更に、直流電圧と共に、例えば徐々にその振幅が減衰する波形パターンの交流成分を加えてこれを試料に印加することによって、強誘電体材料内の分極に擾乱を与え、分極を反転し易くすることもできる。

【0061】

【発明の効果】上述したように、本発明分極反転制御方法によれば、屈折率変化や結晶破壊を生じることなく、分極反転構造を得ることができる。

【0062】また、厚さ方向に単分域化された強誘電体材料に対して本発明を適用する場合は、その深さ方向に良好な形状制御性をもって分極反転構造を形成することができる。一方面内方向に単分域化された強誘電体材料に対しても分極反転を形成することができ、特に強誘電体材料上にリッジ等の凸部を形成して、これを挟むように電極を被着して電圧を印加する場合は、その凸部の厚さに応じた深さの分極反転構造を得ることができ、分極反転構造の形状制御性を向上することができ、SHG

素子を構成する場合は位相整合を確実に行うことができ、光変換効率の向上をはかることができる。

【0063】更に、印加電圧をパルス電圧とする場合は、その電圧値及びパルス幅を適切に選定することによって、形成される分極反転領域の幅及び深さを制御することができる。

【0064】また、電圧印加に先立ってプロトン交換や荷電粒子の照射を行ったり、または印加電圧に交流成分を加える等して強誘電体材料の分極を反転し易くすることによって、分極反転領域を形成し得る電圧値を低減化することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明分極反転制御方法の一例を示す路線的拡大斜視図である。

【図2】電極先端形状の各例を示す路線的拡大上面図である。

【図3】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大斜視図である。

【図4】本発明分極反転制御方法の他の例を示す製造工程図である。

【図5】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大斜視図である。

【図6】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大斜視図である。

【図7】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大斜視図である。

【図8】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大斜視図である。

【図9】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大斜視図である。

【図10】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大断面図である。

【図11】本発明分極反転制御方法の他の例を示す路線的拡大斜視図である。

【図12】分極反転制御方法の参考例を示す路線的拡大斜視図である。

【図13】強誘電体材料の分極反転を示す顕微鏡写真に基づくパターン図である。

【図14】分極反転制御方法の比較例を示す路線的拡大上面図である。

【図15】強誘電体材料の分極反転を示す顕微鏡写真に基づくパターン図である。

【図16】Ti拡散分極反転制御方法の一製造工程図である。

【図17】Ti拡散分極反転制御方法による強誘電体材料の分極反転領域を示す模式的断面図である。

【図18】従前の分極反転制御方法の一例を示す路線的拡大断面図である。

【図19】強誘電体材料の分極反転を示す顕微鏡写真に基づくパターン図である。

13

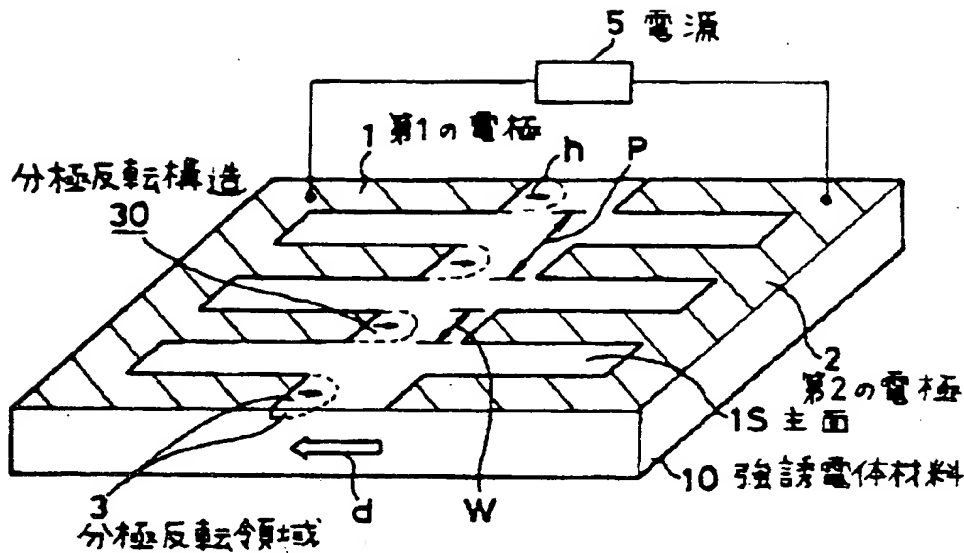
14

【符号の説明】

- 1 第1の電極
2 第2の電極
3 分極反転領域
1S 主面
1A 側面

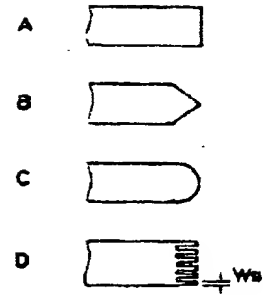
- 1B 側面
5 電源
6 リッジ
10 強誘電体材料
30 分極反転構造

【図1】



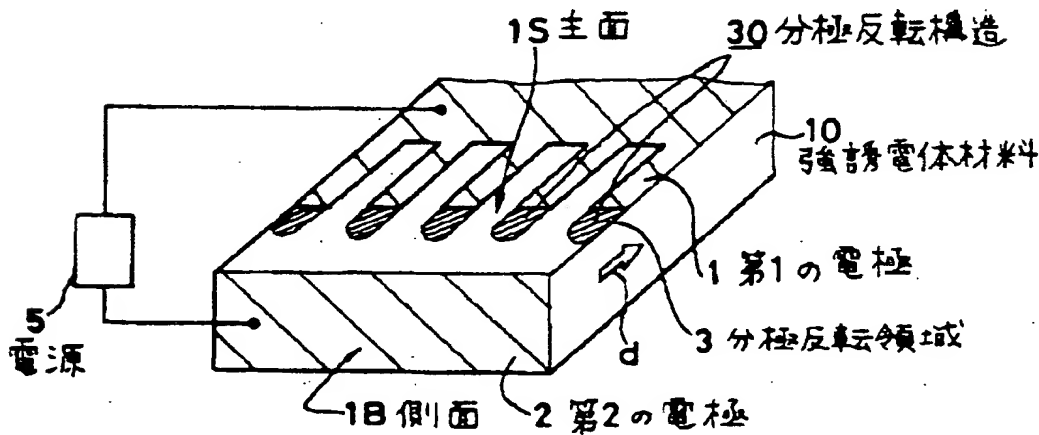
本発明分極反転制御方法の一例を示す斜視図

【図2】



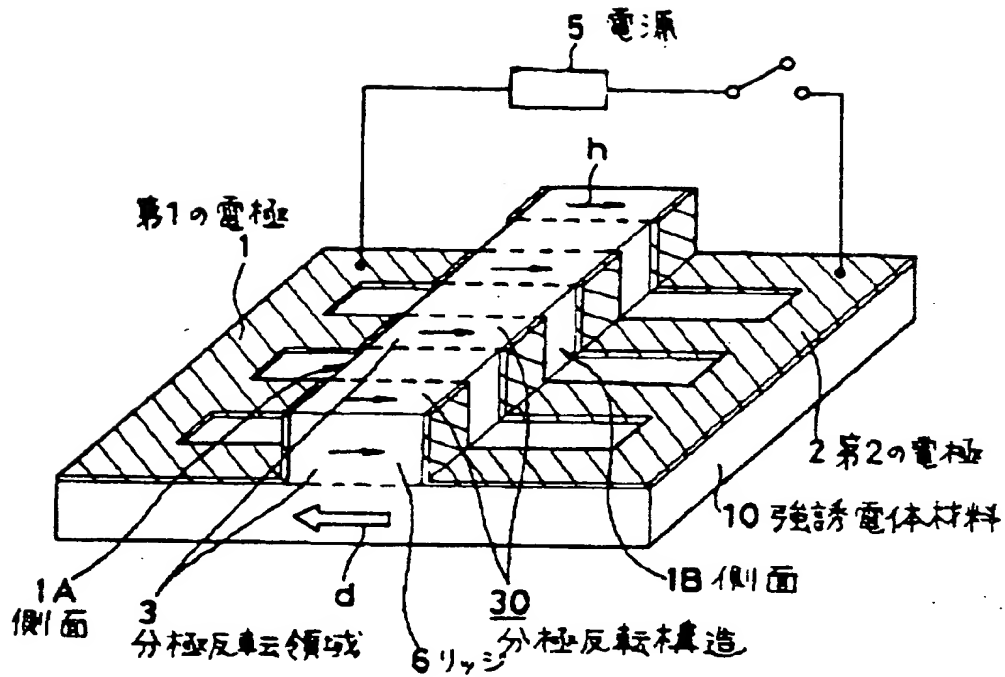
電極先端形状を示す上面図

【図5】



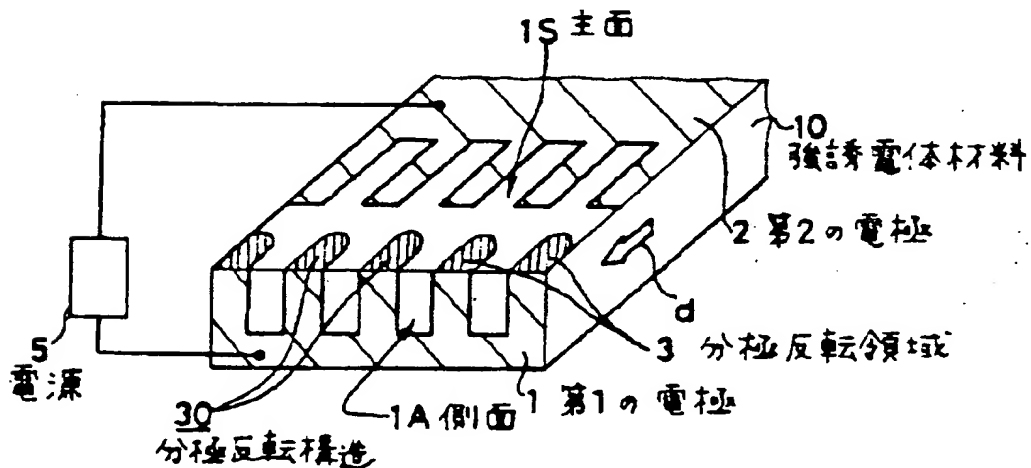
本発明分極反転制御方法の他の例を示す斜視図

【図3】



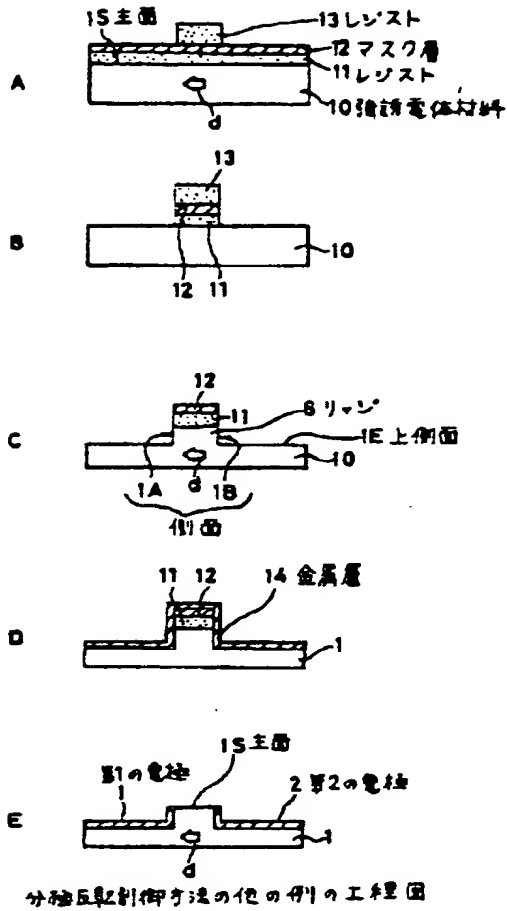
本発明分極反転制御方法の他の例を示す斜視図

【図6】

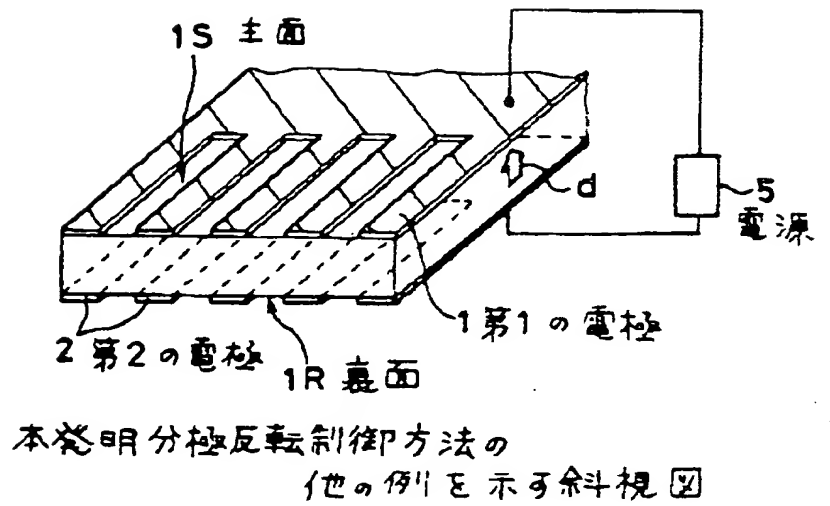


本発明分極反転制御方法の他の例を示す斜視図

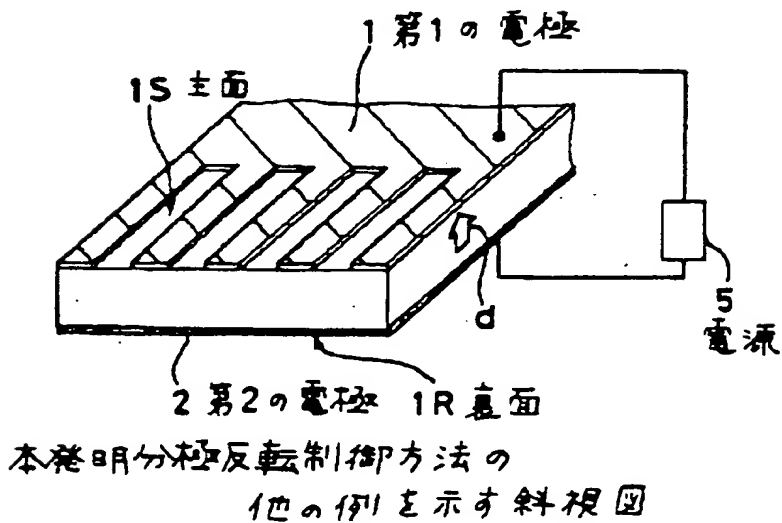
【圖 4】



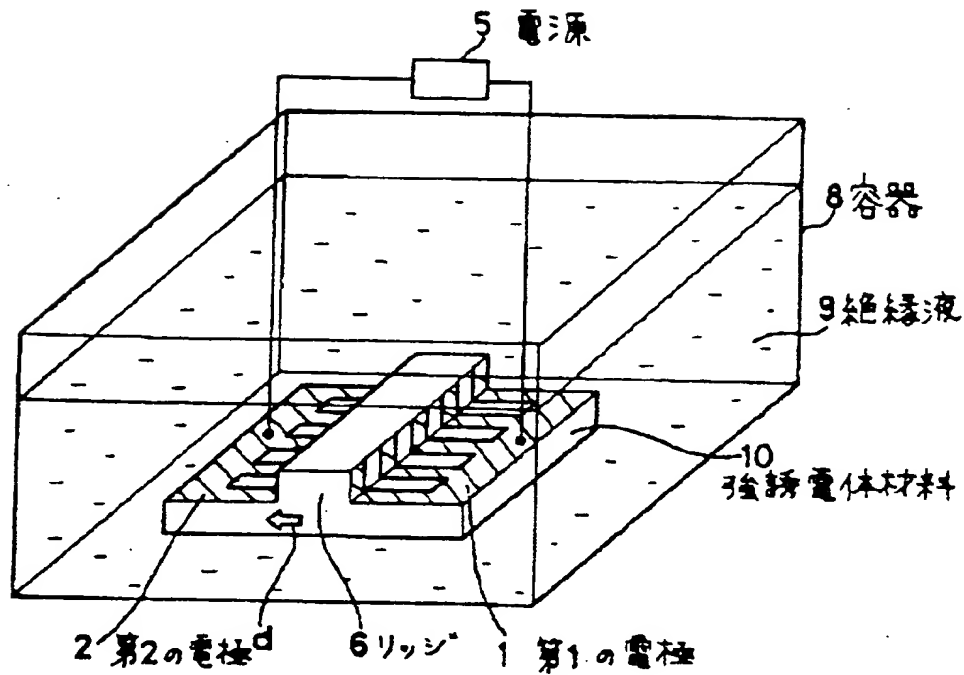
【圖 7】



【图 8】

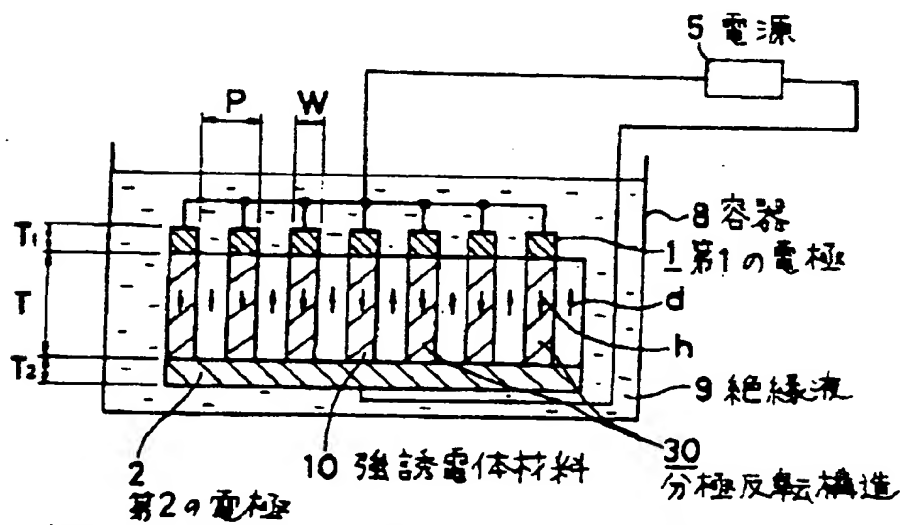


【図9】



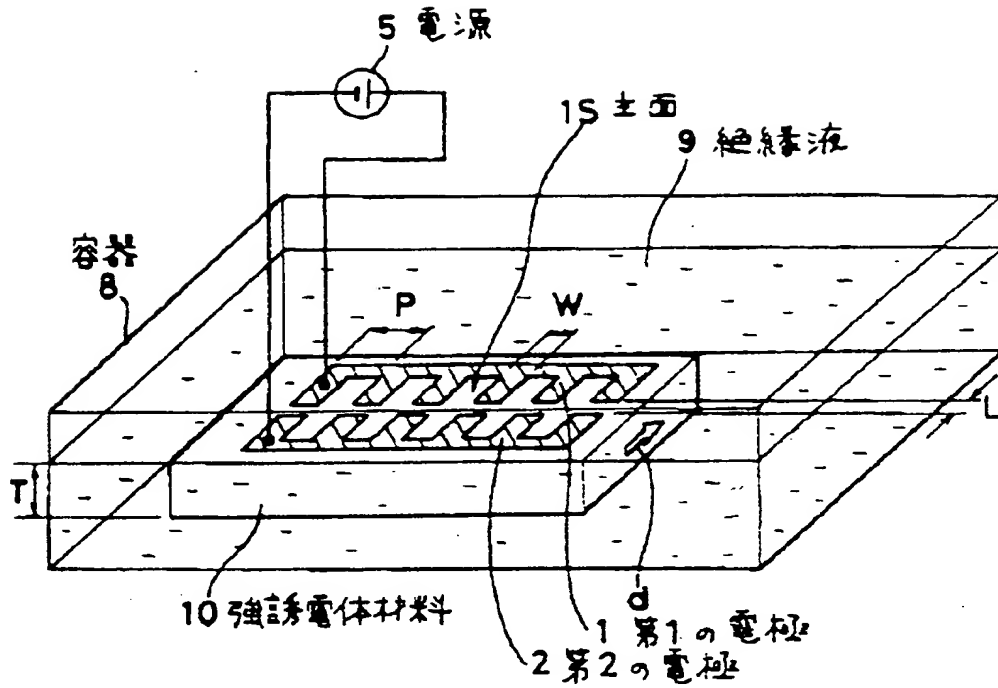
本発明分極反転制御方法の
他の例を示す斜視図

【図10】



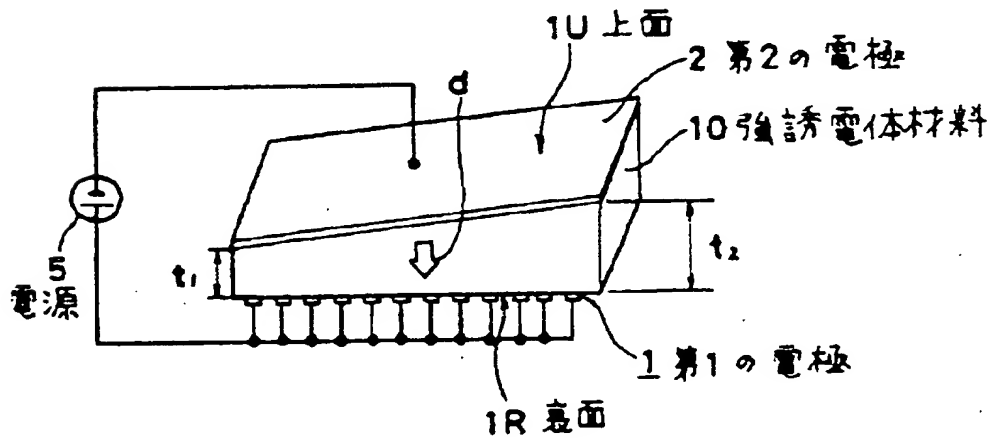
本発明分極反転制御方法の他の例を示す断面図

【図11】



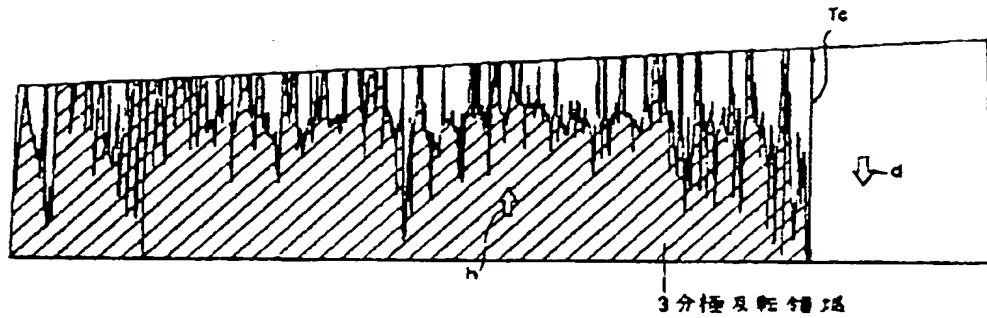
本発明分極反転制御方法の他の例を示す斜視図

【図12】



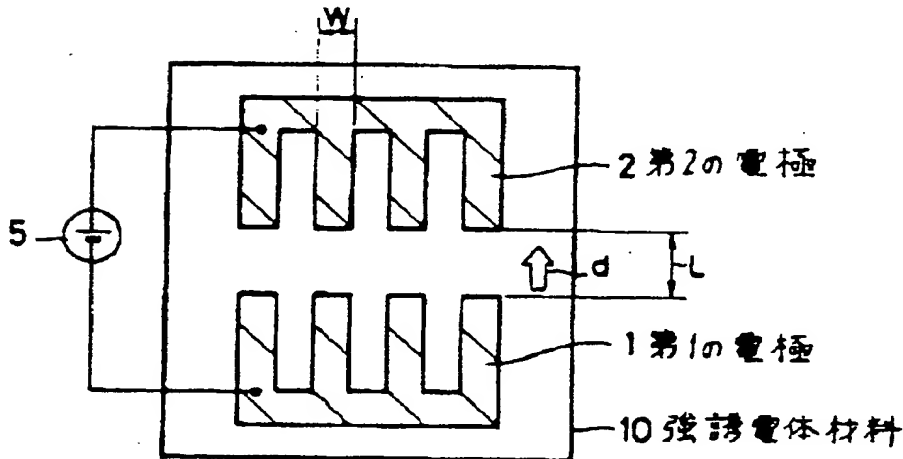
分極反転制御方法の一例を示す斜視図

【図13】



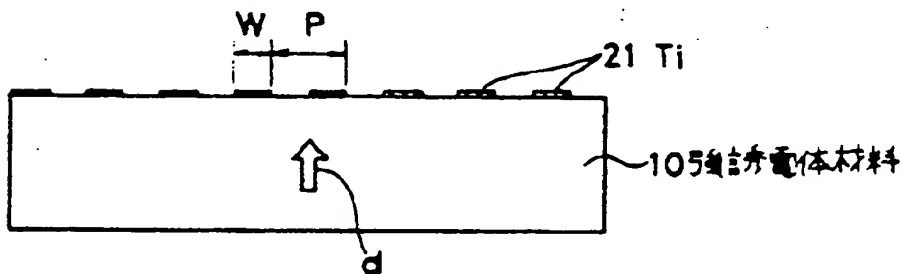
強誘電体材料の分極反転を示す顕微鏡写真に基づいたパターン図

【図14】



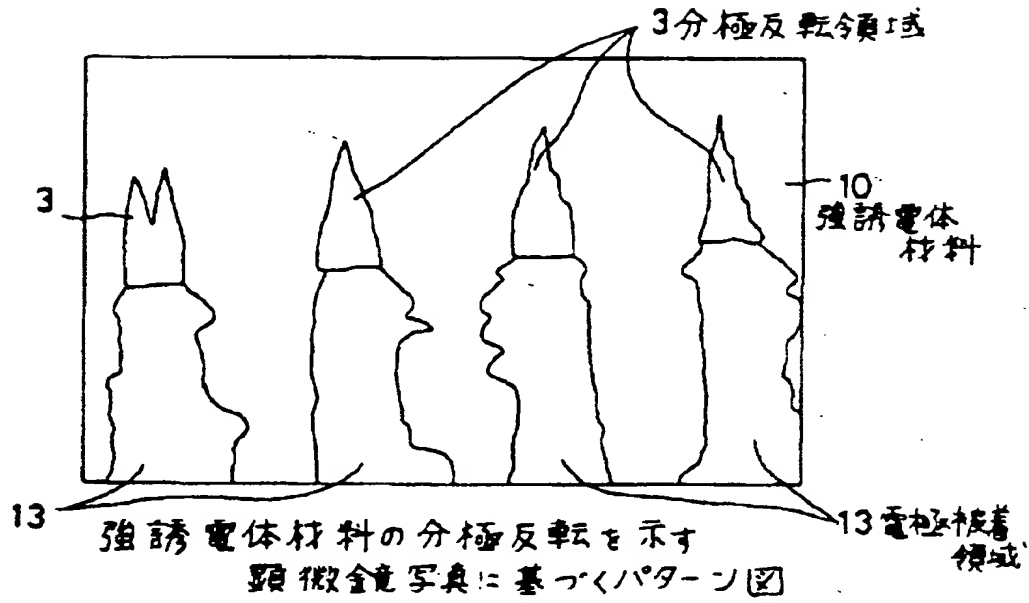
比較分極反転制御方法を示す上面図

【図16】

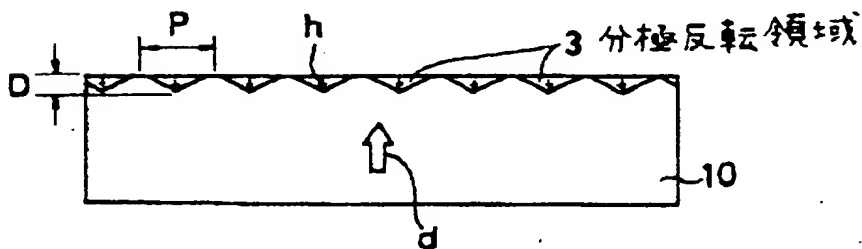


Ti 拡散分極反転制御方法の工程図

【図15】

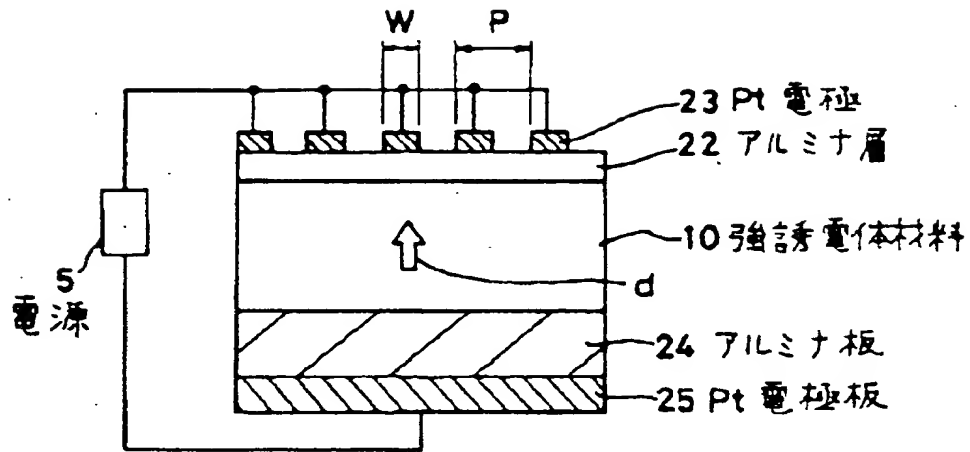


【図17】



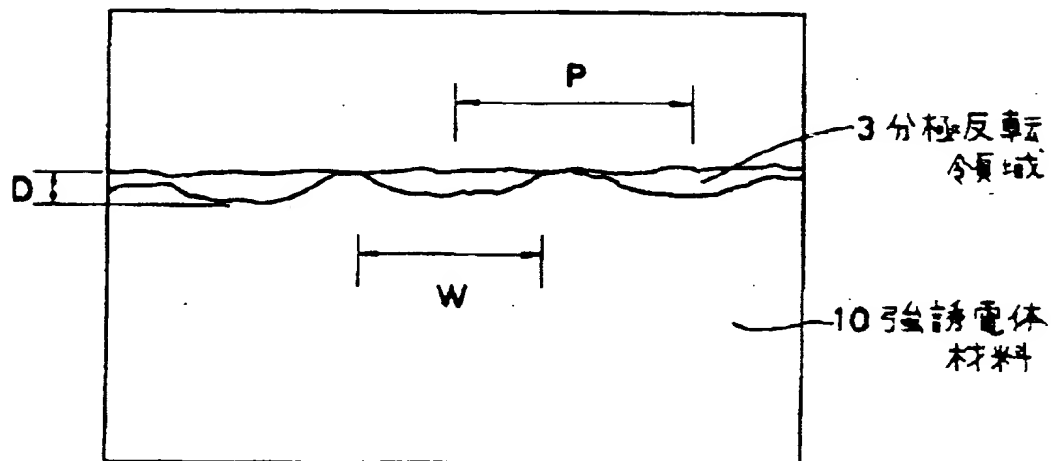
Ti 拡散法による分極反転領域の断面図

【図18】



従前の分極反転制御方法の一例を示す断面図

【図19】



従前の分極反転制御方法による
分極反転領域の顕微鏡写真
に基づくパターン図

フロントページの続き

(72) 発明者 木島 公一朗
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内